Untersuchungen über die Fließbarkeit (Flow) der Amalgame in Abhängigkeit vom Silber- bzw. Zinngehalt.

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des zahnärztlichen Doktorgrades

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn.

Vorgelegt am 14. März 1939

von

Hans Müller

Zahnarzt aus Helpup/Lippe.

BONN, 1939

Anton Brand.

Gedruckt
mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Bonn.

Referent: Prof. Dr. Balters
Korreferent: Prof. Dr. Schulemann

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern!

Untersuchungen über die Fließbarkeit (Flow)
der Amalgame in Abhängigkeit vom Silber- bzw. Zinngehalt.

Reihenfolge:

1. Problemstellung.
2. Die Bedeutung der Amalgamfüllung für die Praxis.
3. Kurzer Rückblick auf die Geschichte der Amalgame.
4. Die Zusammensetzung der Amalgame.
5. Die Bedeutung der Prozentigkeit der Amalgame.
6. Das Fließen der Amalgame.
7. Praktische Untersuchungen über das Fließen.
8. Die Versuchsanordnung.
9. Die Durchführung der Versuche.
10. Die Ergebnisse der Versuche.
11. Die praktischen Schlußfolgerungen aus den Versuchen.
12. Problemstellung und Problemlösung.

1.

Die Amalgamfüllung war und ist auch heute noch ein „Problem" der konservierenden Zahnheilkunde. Immer wieder werden Untersuchungen durchgeführt, sei es über Bruchfestigkeit, Härte, Quecksilberdosierung, Temperung oder chemische Eigenschaften der Amalgame. Versuche, den Wert der Amalgamfüllung zu erhöhen, die ja im Laufe der Zeit trotz ihrer mannigfachen Mängel sich einen sicheren Platz in der konservierenden Zahnheilkunde erworben hat. Das Bestreben, die bestmöglichste Zusammenstezung unserer Amalgame zu erforschen ist gerechtfertigt, wenn die Praxis die unleugbare Tatsache beweist, daß die Amalgamfüllungen zum Teil nach einer gewissen Zeit Fehler aufweisen, die nicht übersehen werden dürfen. Diese Mängel sind hervorgerufen einmal durch eine fehlerhafte Kavitätenpräparation, andererseits durch die Fehler, die im Material selbst liegen. Physikalische und chemische Eigenschaften der Amalgame sind mitverantwortlich für die Güte eines Amalgams. Unter diesen Eigenschaften spielt die Fließarbeit keine geringe Rolle. Spezielle Untersuchungen über die Fließbarkeit der Amalgame in Abhängigkeit vom Silber- bzw. Zinngehalt sollen beweisen, welchen Einfluß die Fließbarkeit auf die Amalgame hat. —

2.

Die Amalgamfüllung hat sich, wie schon oben erwähnt, im Laufe der Jahre durchgesetzt und trotz aller Anfeindungen ist sie die meistgefertigte Füllung der zahnärztlichen Praxis. Es wirft sich die Frage auf: Warum hat sich dieses Füllmaterial duchgesetzt und behauptet, welche Bedeutung hat die Amalgamfüllung für die Praxis?

Die Amalgamfüllung ist die Füllung der Sozialpraxis. Sie ist billig, läßt sich verhältnismäßig schnell herstellen und erreicht schon in kurzer Zeit die gewünschte Härte. Sie hat eine größere Härte als alle anderen plastischen Füllungsmaterialien, dadurch nutzt sie sich beim Kauen weniger ab und ist im Molarengebiet, wieder vor allem in der Sozialpraxis unentbehrlich. Die Verfärbung der Amalgam-

füllung ist nur gering. Sie hat bei einer exakten Kavitätenpräparation und Füllungstechnik eine gewisse Kantenfestigkeit. Ferner ist die Amalgamfüllung korrosionsfest, d. h. sie hält dem Angreifen von Säuren und Basen stand. Auch ist sie nicht porös und bietet den Bakterien selbst keine Eindringungsmöglichkeit.

Diese Eigenschaften der Amalgamfüllung zeigen wohl die Berechtigung, sie zur meistverwandten Füllung zu stempeln.

3.

Die Verwendung von Amalgamen ist noch nicht sehr alt. Um 1840 tauchte zum ersten Male das Amalgam in der Reihe der Zahnfüllmittel auf. Damals stellte jeder Zahnarzt sein Amalgam selbst her. Münzsilber wurde fein gefeilt und mit Quecksilber verrieben. Kurze Zeit später wurden Silber-Zinnlegierungen angewandt. Die Füllungen waren aber in keiner Weise volumenbeständig und entsprachen nicht annähernd den Anforderungen, die an ein gutes Zahnfüllmittel gestellt werden müssen. Natürlich wurde das Amalgam auch durch die Anwendung von Quecksilber manchen Anfeindungen in Bezug auf Giftigkeit ausgesetzt. Die ersten Untersuchungen über Amalgame von Fletcher, Tomes und anderen Forschern waren fehlerhaft und führten zu keinen Ergebnissen. Erst durch die Untersuchungen von Black und Witzel um 1900 wurden wichtige Ergebnisse erzielt. Diese Forscher untersuchten die Amalgame vor allem auf ihre Volumenbeständigkeit.

Auch wurden damals schon Untersuchungen über die Fließbarkeit der Amalgame durchgeführt. Arbeiten von Tammann und Dahl haben uns in der Forschung über die Amalgame weiter gebracht. Später gingen die Hersteller zahnärztlicher Fabrikate selbst daran, auf Grund der gemachten Erfahrungen gleichbleibende Qualität zu garantieren.

4.

Zahnärztliche Amalgame sind Silber-Zinnlegierungen, die mit Quecksilber angequickt werden. Der Hauptunterschied der einzelnen Amalgame liegt in der prozentualen Verschiebung. Es gibt Amal-

game mit 40, 50, 55 und 67%igem Silbergehalt. Es wurde die Meinung vertreten, daß gewisse Metallzusätze die Qualität der Amalgame steigern können, z. B. geringe Mengen Kupfer oder Zink. So versprachen sich die Hersteller auch von den Edelmetallen Gold und Platin nennenswerte Verbesserungen. Es hat sich aber erwiesen, daß diese Zusätze in keiner Weise den Erwartungen entsprachen. Nach Sterner-Reiner darf der Zusatz eines dritten Metalles 5% nicht übersteigen, da das Metall sich sonst sogar ungünstig auf das Amalgam auswirkt. Sind drei Stoffe in Amalgamen enthalten, so wird es als ternäres, bei vier Stoffen als quaternäres Amalgam bezeichnet. — Meine Versuche erstrecken sich auf die beiden Amalgame von 50 und 67% Silbergehalt. Auf das 50%ge, weil es am meisten verwandt wird, auf das 67%ige, weil es nach Untersuchungen von Sterner-Reiner und anderen die günstigsten Eigenschaften aufweist.

Werden nun die beiden Metalle Silber und Zinn zusammen geschmolzen, so bildet sich eine chemische Verbindung Ag_3Sn, d. h. drei Teile Silber verbinden sich mit einem Molekül Zinn. Infolgedessen ist es selbstverständlich, daß, wenn zu viel Silber vorhanden ist, freies Silber übrig bleibt. Bei 67% wird die Verbindung Ag_3Sn nahezu quantitativ erreicht, d. h. es bleibt von keinem Bestandteil weder Ag noch Sn etwas übrig. Diese Legierung wird nun zerspant. Und zwar gibt es zwei Zerspanungsarten: Nadeln und Feilung. Durch nachträgliches Zusammenbacken, und zwar durch Pressung wird noch eine dritte Form erzielt: die Folien.

Die Verbindung Ag_3Sn kann in zwei verschiedenen Modifikationen auftreten, amorph und kristallin. Die kristalline Modifikation stellt den stabilen Zustand dar, d. h. im Laufe der Zeit wird sich der amorphe (labile) in den kristallinen verwandeln. Die Korngröße der einzelnen zerspanten Partikel ist von ausschlaggebender Bedeutung für die Güte und Abbindungsdauer.

Was geschieht bei der Anreibung, d. h. der Amalgamierung?

Wird eine zerspante Legierung mit Quecksilber gut durchknetet, so spaltet sich die Verbindung Ag_3Sn auf und bildet mit dem Hg folgende Verbindung: Das frei werdende Silber geht eine chemische

Verbindung von der Zusammensetzung Ag_3Hg_4 ein, während das Zinn sich mit Hg zu Mischkristall wechselnder Zusammensetzung verbindet, deren stabilste dem Verhältnis von 8 Sn zu 1 Hg entspricht. Die Aufspaltung geht nun beim amorphen Zustand viel schneller vor sich, als beim kristallinen, so daß also ein gealtertes Material viel langsamer abbindet als ein frisch gefeiltes. Außerdem nimmt ein frisch gefeiltes Amalgam viel mehr Hg auf, da die Verbindung zu schnell vor sich geht und eine gewisse Plastizität erhält. Infolgedessen ist es aus diesem Grunde unbedingt erforderlich, gealterte Materialien in den Handel zu bringen. Diese Alterung kann auch künstlich erzeugt werden, durch gelindes Erwärmen 3—4 Stunden auf 100—120°.

5.

Im Laufe der Jahre haben sich zwei Hauptgruppen von Amalgamen gebildet:

1. die sog. 50%igen Silber-Amalgame.
2. Die 65—70%igen oder hochsilberhaltigen Amalgame.

Die Prozentigkeit der Amalgame spielt eine große Rolle. Die Amerikaner verwenden die 50%gen Amalgame überhaupt nicht mehr, dagegen werden in Deutschland fast ausschließlich 50%ige Amalgame verwandt. Welche Bedeutung hat die Prozentigkeit der Amalgame für die Füllung?

a) Der Einfluß der Prozentigkeit der Amalgame auf die Giftigkeit.

Im Jahre 1928 ging eine große Bewegung durch die Fachpresse. Professor Stock behauptete, daß alle Amalgame im Laufe der Zeit Hg abscheiden und dadurch Intoxikationen hervorrufen. Nach langen Versuchen hat sich gezeigt, daß diese Befürchtungen zum mindesten übertrieben sind. Ein Verbot könnte höchstens bei den reinen Kupferamalgamen gerechtfertigt sein. Bei den niedrigprozentigen Silberamalgamen, 50% und noch geringer, besteht nur dann die Gefahr einer Intoxikation, wenn stark überdosiert worden ist. Bei 67% ist

die Gefahr der Überdosierung schon deswegen nicht gegeben, weil überhaupt das optimale Mischungsverhältnis 1 : 1,6 ist. Aber schon bei einem Verhältnis ein Teil Feilung zu 1,3 Teilen Hg wird der Zahnarzt das Material als sehr dünn angerührt bezeichnen.

b) Der Einfluß der Prozentigkeit der Amalgame auf die Volumenveränderung.

Die American Dental-Association schreibt vor, daß im Interesse eines guten Randschlusses die Amalgame nach 24stündiger Erhärtung im Munde eine Expansion von 3—8 µ linearer Ausdehnung pro cm erhalten. Diese Ausdehnung ist so gewählt, daß wohl ein festes Anschmiegen an die Kavitätenwand erreicht und damit ein idealer Randschluß erzielt wird, diese Expansion aber nicht zu groß sein darf, da Spannungen entstehen, die unter Umständen den Zahn sprengen könnten. Nach Versuchen von Sterner-Reimer erhält das 50%ige Amalgam erst nach 30 Tagn seine ursprüngliche Größe wieder. Es hat bei mittlerem Hg-Gehalt, d. h. schon bei geringer Überdosierung nach einer Stunde eine Kontraktion von 2,5 µ usw., nach 30 Tagen eine Expansion von + 5 µ. Während dieser ganzen Zeit ist die Kavität dem Eindringen von Bakterien, bewirkt durch schlechten Randschluß, ausgesetzt. Beim 67%igen Amalgam ist im Gegensatz dazu eine gewaltige Expansion zu verzeichnen, die schon nach einer Stunde einsetzt und durch die Temperung auf ein normales Maß heruntergesetzt werden muß (weniger Hg aufgenommen). So hat das heutige 67%ige Jota-Amalgam nach 30 Tagen einen Maximalwert von 7,5 µ Expansion erreicht.

c) Der Einfluß der Prozentigkeit der Amalgame auf die Erhärtung.

Die Brinellhärte der 50%igen Amalgame beträgt nach 24 Stunden 32, der 67%igen 44. Die endgültige Härte ist nach einem Monat erreicht. Beim 50%igen Amalgam ist die maximale Härte 38, beim 67%igen 48. Für den Zahnarzt ist es wichtig, zu wissen, daß nach 2 Stunden die Brinellhärte des 67%igen Amalgams schon 25 beträgt, d. h. einem mäßigen Kaudruck schon gut standhalten kann, dagegen beim 50%igen erst 8.

d) Der Einfluß der Prozentigkeit der Amalgame auf die Verfärbung.

Die Verfärbung bei den 50%igen Amalgamen ist bedeutend größer als bei den 67%igen. Um diesen Nachteil zu vermeiden, empfehlen Amalgam-Hersteller den Zusatz von Gold, Platin und anderen Edelmetallen. Die Potentialdifferenz zwischen einer hochprozentigen Amalgamfüllung und einer benachbarten Goldfüllung ist auch beim 67%igen Amalgam eben durch den höheren Silbergehalt lange nicht so groß wie bei dem 50%igen Amalgam.

e) Der Einfluß der Prozentigkeit der Amalgame auf die Spaltfestigkeit.

Die 50%igen Amalgame erreichen nach 30 Tagen eine Spaltfestigkeit von 236 Kg/cm², die 67%igen von 270 Kg/cm².

6—9.

Nun soll eine der Haupteigenschaften der Amalgame, nämlich der Flow eingehender untersucht werden.

Flow ist ein englisches Wort und bedeutet „das Fließen". Die Härte der Amalgame ist ja nur ein relativer Begriff. Das Wort Flow wird am besten mit Fließbarkeit, Stauchung und Überschreiten der Elastizitätsgrenze übersetzt. Darunter wird verstanden, daß unter einem bestimmten Druck, der eine Zeit auf einem Amalgamkörper von 1 cm² Fläche wirkt, die Länge des Körpers verändert und zwar verkürzt wird. Diese Verkürzung ist auf zwei verschiedene Ursachen zurückzuführen. Einmal auf eine Kompression, d. h. der Körper bekommt eine größere Dichte, zweitens auf eine Stauchung, d. h. der Körper geht auseinander, er wird dicker und zwar senkrecht zur Richtung des Stauchdruckes. Für die Praxis bedeutet das folgendes:

1. Überhängende Ränder,
2. Materialschwund,
3. Spannungen.

ad 1.) Durch den Flow werden vor allem bei approximalen Füllungen aus den Kontaktpunkten Kontaktflächen, d. h. die Approximalräume sind schlecht durchspülbar und bilden die besten Retentionsstellen für die Speisereste, wie überhaupt alle überhängenden Ränder, sei es nun bei approximalen oder zentralen Füllungen. Außerdem reibt sich an ihnen leicht die Zunge oder Wangenschleimhaut wund. Durch ein Ausweichen des Materials, vor allem auch bei approximalen Füllungen, wird auch der Kontakt mit dem Antagonisten stark gelockert, so daß er nicht mehr voll in Anspruch genommen wird.

ad 2.) Durch einen dauernden Druck auf dieselbe Stelle der Füllung wird, wie nachstehende Untersuchungen zeigen, tatsächlich eine Kontraktion herbeigeführt, die sich allerdings nur in der Richtung der Kraftwirkung bemerkbar macht. Dadurch entstehen, jedoch in vielgeringerem Maßstabe, dieselben Nachteile, wie bei Punkt 1. (Scharfe Ränder, unvollkommene Inanspruchnahme des Antagonisten.)

ad 3.) Diese Spannung wirkt wie eine gewaltige Expansion und durch sie können bei ungeschicktem Biß Zahnwände abgesprengt werden, und bei stärkeren Zahnwänden Risse und Spalten im Zahn entstehen. (Keine Expansion des Materials, wie vielfach angenommen wird, sondern ein Ausweichen des Materials nach der Seite.)

Diese wichtigen Eigenschaften des Flow sind leider in Deutschland noch viel zu wenig bekannt. Den Amerikanern gebührt das Verdienst, zuerst Untersuchungen darüber angestellt zu haben.

Wie verhalten sich nun die gebräuchlichsten Amalgame hinsichtlich des Flow?

Versuchsbedingungen:

1. Materialien.
   50- und 67%iges Silberamalgam der Jota-Werke.
2. Verspanung.
   Bei allen beiden Feilung.
3. Dosierung.
   Beim 50%igen 1:0,8, d. h. auf ein Gramm Feilung 0,8 Gr.

Hg. — Beim 67%igen 1:1,2, also auf ein Gr. Feilung 1,2 Gr. Hg.

Ich habe diese Dosierung gewählt, weil bei ihr auf Grund verschiedener Versuche die günstigsten Ergebnisse erzielt worden sind, weil ein Material, das vollkommen abgebunden ist, eben eine vollkommen homogene Masse erzielt, dann auch, weil mit steigendem Hg-Gehalt die Expansion zunimmt. Die Maximalwerte liegen beim 50%igen bei 0,9, beim 67%igen bei 1,6.

4. Temperatur.

20° Celsius gleichbleibend.

Die Temperatur ist zu berücksichtigen, weil die Expansion bzw. die Kontraktion von der Temperatur mit abhängig sind.

5. Stopfdruck.

Unter normalen Bedingungen wie in der Praxis.

6. Stopfart.

a) In großen Stücken und senkrecht gestopft.

b) In kleinen Stücken unter rotierenden Bewegungen mit dem Handstopfinstrument gestopft.

7. Erhärtungszeit.

24 Stunden, 48 Stunden und 30 Tage.

Die endgültige Erhärtung der Amalgame ist erst nach 30 Tagen vorhanden, aber auch schon vorher wird das Material dem vollen Kaudruck ausgesetzt. Die Zeit von 24 Stunden habe ich gewählt, um Vergleiche zu haben mit den Flow-Prüfungen der Amerikaner, die dieselben nach einer Erhärtungszeit von 24 Stunden vornehmen.

8. Belastung.

200 kg auf 0,785 cm^2.

Die Amerikaner belasteten bei ihren Flow-Prüfungen einen Amalgamkörper mit einer Grundfläche von 1 cm^2 mit 250 kg. Ich habe mir Amalgamzylinder von 10 mm Höhe und Durchmesser hergestellt. Habe also eine Grundfläche von 0,785 cm^2. Auf 1 cm^2 250 kg, auf 0,785 cm^2 196 kg. Also rund 200 kg Belastung.

9. Belastungsdauer.

0, 4, 12, 24, 48, 72 Stunden.

Versuch I.

a) Drei Zylinder. 50%iges Amalgam. In großen Stücken senkrecht gestopft, erhärtet 24 Stunden. Belastet mit 200 kg. Gemessen nach 0, 4, 12, 24, 48, 72 Stunden und zwar A) Höhenabnahme und B) Dickenzunahme.

b) 3 Zylinder wie bei a) nur 48 Stunden erhärtet.

c) 3 Zylinder. 50%iges Amalgam. In kleinen Stücken unter rotierenden Bewegungen appliziert, sonst wie bei a).

d) 3 Zylinder wie bei c), nur 48 Stunden erhärtet.

e) 1 Zylinder. 50%iges Amalgam. Kleine Stücke einrotiert, 30 Tage erhärtet, 72 Stunden belastet mit 200 kg.

Versuch Ia

Amalgamzylinder aus **50 %iger** Feilung belastet mit 200 kg.

A.) Höhenabnahme

a.) Große Stücke, **senkrecht gestopft,** erhärtet **24 Stunden.**

Belastungszeit in Std.	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Mittelwert % Abnahme
0	10,01	—	10,00	—	10,02	—	—
4	9,71	2,99	9,70	3,0	9,70	3,29	3,09
12	9,64	3,69	9,62	3,8	9,56	3,59	3,69
24	9,54	4,69	9,53	4,7	9,55	4,69	4,69
48	9,47	5,39	9,48	5,2	9,48	5,38	5,32
72	9,34	6,59	9,32	6,8	9,35	6,68	6,69

B.) Dickenzunahme

a.) Große Stücke, senkrecht gestopft, erhärtet **24 Stunden.**

Belastungszeit in Std.	Durchmesser	% Zunahme	Durchmesser	% Zunahme	Durchmesser	% Zunahme	Mittelwert % Abnahme
0	10,00	—	10,00	—	10,00	—	—
4	10,10	1,0	10,09	0,9	10,10	1,0	0,96
12	10,12	1,2	10,13	1,3	10,12	1,2	1,23
24	10,15	1,5	10,16	1,6	10,14	1,4	1,50
48	10,19	1,9	10,19	1,9	10,18	1,8	1,86
72	10,26	2,6	10,27	2,7	10,25	2,5	2,60

Die Amalgamzylinder nach Versuch I A a und I B a haben also im Durchschnitt

nach 4 stünd. Belastungsdauer eine Höhenabnahme von 3,09 %
eine Dickenzunahme von 0,96 %
„ 72 stünd Belastungsdauer eine Höhenabnahme von 6,69 %
eine Dickenzunahme von 2,60 %.

Versuch Ib

A) Höhenabnahme

b) Große Stücke, senkrecht gestopft, erhärtet **48 Stunden.**

Belastungszeit in Std.	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Mittelwert % Abnahme
0	10,03	—	10,01	—	9,99	—	—
4	9,83	1,99	9,82	1,89	9,78	2,12	2,00
12	9,80	2,28	9,76	2,49	9,75	2,46	2,41
24	9,69	3,38	9,72	2,89	9,76	3,10	3,40
48	9,67	3,58	9,62	3,79	9,59	4,00	3,79
72	9,59	4,38	9,54	4,69	9,49	5,00	4,69

B) Dickenzunahme

b) Große Stücke, senkrecht gestopft, erhärtet **48 Stunden.**

Belastungszeit in Std.	Durchmesser	% Zunahme	Durchmesser	% Zunahme	Durchmesser	% Zunahme	Mittelwert % Zunahme
0	10,00	—	10,00	—	10,01	—	—
4	10,07	0,7	10,07	0,7	10,06	0,49	0,63
12	10,09	0,9	10,08	0,8	10,09	0,79	0,83
24	10,12	1,2	10,13	1,3	10,13	1,29	1,26
48	10,14	1,4	10,15	1,5	10,15	1,39	1,43
72	10,18	1,8	10,19	1,9	10,21	1,99	1,89

Die Amalgamzylinder nach Versuch I A b und I B b haben also im Durchschnitt

nach 4 stünd. Belastungsdauer eine Höhenabnahme von 2,00 %
eine Dickenzunahme von 0,63 %
„ 72 „ „ eine Höhenabnahme von 4,69 %
eine Dickenzunahme von 1,89 %.

Versuch Ic

A) Höhenabnahme

c) Kleine Stücke, **rotiert,** erhärtet **24 Stunden.**

Belastungszeit in Std.	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Mittelwert % Abnahme
0	10,00	—	9,99	—	10,00	—	—
4	9,75	2,5	9,71	2,82	9,74	2,60	2,64
12	9,67	3,30	9,64	3,52	9,68	3,20	3,34
24	9,56	4,40	9,57	4,30	9,54	4,60	4,43
48	9,50	5,00	9,53	4,80	9,49	5,10	4,93
72	9,39	6,30	9,40	6,00	9,36	6,40	6,23

B) Dickenzunahme

c) Kleine Stücke, **rotiert,** erhärtet **24 Stunden.**

Belastungszeit in Std.	Durchmesser	% Zunahme	Durchmesser	% Zunahme	Durchmesser	% Zunahme	Mittelwert % Zunahme
0	10,00	—	10,00	—	10,01	—	—
4	10,08	0,8	10,09	0,9	10,10	0,89	0,85
12	10,10	1,0	10,11	1,1	10,13	1,19	1,10
24	10,13	1,3	10,14	1,4	10,15	1,39	1,35
48	10,17	1,7	10,16	1,6	10,17	1,59	1,65
72	10,25	2,5	10,24	2,4	10,25	2,39	2,45

Die Amalgamzylinder nach Versuch I A c und I B c haben also im Durchschnitt

nach 4 stünd. Belastungsdauer eine Höhenabnahme von 2,64 %
eine Dickenzunahme von 0,85 %

nach 72 „ „ eine Höhenabnahme von 6,23 %
eine Dickenzunahme von 2,45 %

Versuch Id

A) Höhenabnahme

d) Kleine Stücke, **rotiert,** erhärtet **48 Stunden.**

Belastungszeit in Std.	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Mittelwert % Abnahme
0	10,01	—	10,00	—	10,00	—	—
4	9,84	1,69	9,85	1,5	9,83	1,7	1,63
12	9,79	2,19	9,77	2,3	9,79	2,1	2,19
24	9,71	2,99	9,70	3,0	9,71	2,9	2,96
48	9,66	3,49	9,64	3,6	9,63	3,7	3,59
72	9,58	4,29	9,59	4,1	9,54	4,4	4,26

B) Dickenzunahme

d) Kleine Stücke, **rotiert,** erhärtet, **48 Stunden.**

Belastungszeit in Std.	Durchmesser	% Zunahme	Durchmesser	% Zunahme	Durchmesser	% Zunahme	Mittelwert % Zunahme
0	10,00	—	10,01	—	10,00	—	—
4	10,05	0,5	10,08	0,69	10,06	0,6	0,59
12	10,08	0,8	10,10	0,89	10,07	0,7	0,76
24	10,12	1,2	10,12	1,09	10,10	1,0	1,09
48	10,14	1,4	10,14	1,29	10,13	1,3	1,33
72	10,17	1,7	10,19	1,79	10,17	1,7	1,73

Die Amalgamzylinder nach Versuch I A d und I B d haben also im Durchschnitt

nach 4stündiger Belastungsdauer eine Höhenabnahme von 1,63 %
eine Dickenzunahme von 0,59 %
nach 72stündiger Belastungsdauer eine Höhenabnahme von 4,26 %
eine Dickenzunahme von 1,73 %

Versuch Ie

A) Höhenabnahme

e) **Kleine** Stücke **rotiert**
erhärtet: 30 Tage
belastet: 72 Stunden.

Höhe: 10,00
Nach 72 Stunden: 9,61
Prozentabnahme: 3,9 %.

B) Dickenzunahme

e) **Kleine** Stücke **rotiert**
erhärtet: 30 Tage
belastet: 72 Stunden.

Durchmesser: 10,00
Nach 72 Stunden: 10,15
Prozentzunahme: 1,50 %.

Versuch IIa

a) b) c) d) e) entsprechend dem Versuch I mit **67 %igen** Amalgamzylindern.

Amalgamzylinder aus **67 %iger** Feilung belastet mit 200 kg.

A) Höhenabnahme

a) **Große** Stücke, senkrecht gestopft, erhärtet **24 Stunden.**

Belastungszeit in Std.	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Mittelwert % Abnahme
0	10,02	—	10,00	—	10,03	—	—
4	9,96	0,59	9,95	0,50	9,97	0,59	0,56
12	9,92	0,99	9,91	0,90	9,91	1,19	1,02
24	9,88	1,39	9,84	1,70	9,88	1,49	1,49
48	9,82	1,99	9,80	2,00	9,82	2,09	2,02
72	9,76	2,59	9,74	2,60	9,74	2,89	2,69

B) Dickenzunahme

a) **Große** Stücke, senkrecht gestopft, erhärtet **24 Stunden**

Belastungs-zeit in Std.	Durch-messer	% Zunahme	Durch-messer	% Zunahme	Durch-messer	% Zunahme	Mittelwert % Zunahme
0	10,00	—	10,00	—	10,01	—	—
4	10,02	0,20	10,01	0,10	10,02	0,09	0,13
12	10,03	0,30	10,02	0,20	10,03	0,19	0,23
24	10,05	0,50	10,06	0,60	10,05	0,39	0,49
48	10,06	0,60	10,07	0,70	10,08	0,69	0,66
72	10,08	0,80	10,09	0,90	10,10	0,89	0,86

Die Amalgamzylinder nach Versuch II A a und II B a haben also im Durchschnitt

nach 4 stünd. Belastungsdauer eine Höhenabnahme von 0,56 %
eine Dickenzunahme von 0,13 %
„ 72 „ „ eine Höhenabnahme von 2,69 %
eine Diukenzunahme von 0,86 %

Versuch IIb

A) Höhenabnahme

b) **Große** Stücke, senkrecht gestopft, erhärtet **48 Stunden**

Belastungs-zeit in Std.	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Mittelwert % Abnahme
0	10,02	—	10,03	—	10,00	—	—
4	9,97	0,49	9,99	0,39	9,95	0,5	0,46
12	9,94	0,79	9,96	0,69	9,92	0,8	0,76
24	9,90	1,19	9,93	0,99	9,89	1,1	1,06
48	9,84	1,79	9,85	1,79	9,83	1,7	1,76
72	9,78	2,39	9,80	2,29	9,75	2,5	2,39

B) Dickenzunahme

b) **Große** Stücke, senkrecht gestopft, erhärtet **48 Stunden**

Belastungs-zeit in Std.	Durch-messer	% Zunahme	Durch-messer	% Zunahme	Durch-messer	% Zunahme	Mittelwert % Zunahme
0	10,00	—	10,00	—	10,00	—	—
4	10,02	0,20	10,01	0,10	10,01	0,10	0,13
12	10,03	0,30	10,01	0,10	10,02	0,20	0,20
24	10,04	0,40	10,03	0,30	10,04	0,40	0,37
48	10,06	0,60	10,05	0,50	10,05	0,50	0,53
72	10,07	0,70	10,08	0,80	10,06	0,60	0,70

Die Amalgamzylinder nach Versuch II A b und II B b haben also im Durchschnitt

nach 4 stünd. Belastungsdauer eine Höhenabnahme von 0,46 %
eine Dickenzunahme von 0,13 %
„ 72 „ „ eine Höhenabnahme von 2,39 %
eine Dickenzunahme von 0,70 %.

Versuch IIc

A) Höhenabnahme

c) **Kleine** Stücke, rotiert, erhärtet **24 Stunden.**

Belastungs-zeit in Std.	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Mittelwert % Abnahme
0	10,01	—	10,00	—	10,02	—	—
4	9,97	0,39	9,96	0,4	0,98	0,39	0,39
12	9,95	0,69	9,92	0,8	9,96	0,59	0,69
24	9,92	0,89	9,90	1,0	9,93	0,89	0,93
48	9,86	1,49	9,93	1,7	9,86	1,59	1,59
72	9,80	2,09	9,78	2,2	9,82	1,99	2,09

B) Dickenzunahme

c) **Kleine** Stücke, rotiert, erhärtet **24 Stunden.**

Belastungs-zeit in Std.	Durch-messer	% Zunahme	Durch-messer	% Zunahme	Durch-messer	% Zunahme	Mittelwert % Zunahme
0	10,00	—	10,01	—	10,00	—	—
4	10,02	0,20	10,03	0,19	10,01	0,1	0,16
12	10,04	0,40	10,04	0,29	10,03	0,3	0,33
24	10,05	0,50	10,05	0,39	10,04	0,4	0,43
48	10,06	0,60	10,06	0,49	10,05	0,5	0,53
72	10,08	0,80	10,08	0,69	10,09	0,9	0,79

Die Amalgamzylinder nach Versuch II A c und II B c haben also im Durchschnitt

nach 4 stünd. Belastungsdauer eine Höhenabnahme von 0,39 %
eine Dickenzunahme von 0,16 %
„ 72 „ „ eine Höhenabnahme von 2,09 %
eine Dickenzunehme von 0,79 %.

Versuch IId

A) Höhenabnahme

d) **Kleine** Stücke, rotiert, erhärtet **48 Stunden.**

Belastungs-zeit in Std.	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Höhe	% Abnahme	Mittelwert % Abnahme
0	10,01	—	10,00	—	10,00	—	—
4	9,98	0,29	9,98	0,2	9,98	0,2	0,23
12	9,96	0,49	9,95	0,5	9,94	0,6	0,53
24	9,93	0,79	9,93	0,7	9,93	0,7	0,73
48	9,87	1,39	9,86	1,4	9,88	1,2	1,33
72	9,83	1,79	9,82	1,8	9,84	1,6	1,73

B) Dickenzunahme

d) **Kleine** Stücke, rotiert, erhärtet **48 Stunden.**

Belastungs-zeit in Std.	Durch-messer	% Zunahme	Durch-messer	% Zunahme	Durch-messer	% Zunahme	Mittelwert % Zunahme
0	10,00	—	10,00	—	10,00	—	—
4	10,01	0,10	10,02	0,20	10,05	0,05	0,15
12	10,02	0,20	10,02	0,20	10,02	0,20	0,20
24	10,04	0,40	10,03	0,30	10,03	0,30	0,35
48	10,05	0,50	10,06	0,60	10,05	0,50	0,55
72	10,06	0,60	10,07	0,70	10,07	0,70	0,65

Die Amalgamzylinder nach Versuch II A d und II B d haben also im Durchschnitt

nach 4 stünd. Belastungsdauer eine Höhenabnahme von 0,23 %
eine Dickenzunahme von 0,15 %
„ 72 „ „ eine Höhenabnahme von 1,73 %
eine Dickenzunahme von 0,65 %.

Versuch II e

A) Höhenabnahme

e) **Kleine** Stücke, **rotiert**
erhärtet: 30 Tage
belastet: 72 Stunden
Höhe: 10,00
Nach 72 Stunden 9,88
Prozentabnahme: 1,2 %

B) Dickenzunahme

e) **Kleine** Stücke, **rotiert**
erhärtet: 30 Tage
belastet: 72 Stunden
Durchmesser: 10,00
Nach 72 Stunden 10,06
Prozentzunahme 0,60 %

Aus der Tabelle ist ersichtlich, welch großer Formveränderung die 50%igen Amalgame durch den Kaudruck unterliegen. Und zwar ist die Formveränderung der 50%igen mindestens 300% größer als die der 67%igen Amalgame, wie die gefundenen Mittelwerte Versuch I und II zeigen. Dabei ist auch die Applikationstechnik einer Amalgamfüllung von Wichtigkeit, denn wir ersehen, daß der Fluß einer Amalgamfüllung, die in kleinen Stücken einrotiert ist, um 10% geringer ist, als wenn wir die Füllung in großen Stücken stopfen. Beispiel: Siehe Tabelle Versuch I A b und A d

Versuch I B b und B d

Die in großen Stücken gestopften Amalgamzylinder weisen nach 72 Stunden Belastung im Mittelwert

eine Höhenabnahme von 4,69%
eine Dickenzunahme von 1,89% auf.

Die in kleinen Stücken unter rotierenden Bewegungen hergestellten Zylinder weisen nach 72 Stunden Belastung im Mittelwert

eine Höhenabnahme von 4,26%
eine Dickenzunahme von 1,73% auf.

Bei den 67%igen Amalgamen macht sich dieser Unterschied in der Applikationstechnik noch viel deutlicher bemerkbar. Hier verbessert sich der Fluß um 22%. Es ist anzunehmen, daß das innere Gefüge einer Füllung durch Einrotieren kleinster Partien von vorneherein schon viel dichter wird, als wenn ich in großen Portionen stopfe. Auch das Anhaften des Amalgams an die Dentinwände, besonders bei untersichgehenden Stellen ist viel besser. Wenn also schon Amalgame als Füllmaterial verwandt werden, so müssen, um einwandfreie Resultate zu erzielen, sowohl im Interesse des Patienten als auch der Erhaltung des Zahnes solche Amalgame verwandt werden, die sich durch einen hohen Silbergehalt auszeichnen und diese müssen in ganz kleinen Portionen einrotiert werden; denn auf diese Weise gelingt es, die überlegenen Eigenschaften der 67%igen gegenüber den 50%igen Amalgamen durch die angewandte Applikationstechnik noch zu verbessern.

Versuch III.

Bestimmung der Elastizitätsgrenze.

Sehr interessant ist es auch, daß wir für die verschiedenen Amalgame die Lage der Elastizitätsgrenze bestimmt haben; denn es ist wichtig, zu wissen, womit eine Amalgamfüllung im Höchstfall belastet werden darf, bevor sie sich in Form und Volumen ändert. Zu dem Zwecke werden verschiedene Amalgamzylinder in eine Prüfmaschine eingespannt, die an und für sich auf Zug berechnet ist. Durch geeignete Vorrichtung kann der von der Maschine ausgeübte Zug in Druck verwandelt werden. Die Maschine selbst ist nun so eingerichtet, daß der von ihr angezeigte Druck sich bei der geringsten Kompression des in die Maschine eingespannten Körpers vermindert, d. h. also, die Maschine zeigt den steigenden Druck so lange, wie der Körper infolge seiner Härte und Dichte die Form beibehält. Sobald sich nun infolge beginnender Kompression der eingespannte Körper verkürzt, sinkt automatisch der auf ihn einwirkende Druck. Es kann also genau festgestellt werden, wie weit ein Amalgamkörper belatset werden darf, ohne daß er sich irgendwie infolge Kompression in seiner Form verändert. Interessant ist nun die Erscheinung, daß dem Fluß der Amalgame, d. h. hauptsächlich der Breitenzunahme des Amalgamkörpers senkrecht zur Richtung des einwirkenden Druckes, eine Kompression vorausgeht. Der Amalgamkörper verdichtet sich also. Das Kristallgefüge wird enger zusammen gepreßt in der Richtung des Druckes. Erst von dem Moment an, wo sich die Kristalle der verschiedenen Hg-Verbindungen im Amalgam soweit aneinander gelagert haben, daß ein engeres Zusammenstehen nicht mehr möglich ist, beginnt der Amalgamkörper zu fließen. Ich habe angefangen mit einem zweistündigen Druck von 10 kg.

Beim 50%igen Amalgamzylinder (kl. Stücke, einrotiert)
24 Std. erhärtet, zeigte sich ein Rückschlag bei 30 kg
Beim 50%igen Amalgamzylinder (kl. Stücke, einrotiert)
48 Std. erhärtet, zeigte sich ein Rückschlag bei 33 kg
Beim 50%igen Amalgamzylinder (kl. Stücke, einrotiert)

30 Tage erhärtet, zeigte sich ein Rückschlag bei 38 kg
Beim 67%igen Amalgamzylinder (kl. Stücke, einrotiert)
24 Std. erhärtet, zeigte sich ein Rückschlag bei 75 kg
Beim 67%igen Amalgamzylinder (kl. Stücke, einrotiert)
48 Std. erhärtet, zeigte sich ein Rüschlag bei 77 kg
Beim 67%igen Amalgamzylinder (kl. Stücke, einrotiert),
30 Tage erhärtet, zeigte sich ein Rückschlag bei 78 kg

Bei allen sechs Körpern zeigte sich bei einem Rückschlag um ein kg wohl eine geringe Höhenabnahme, jedoch keine Dickenzunahme. Die Höhenabnahme betrug 0,1%, ein Beweis, daß dem Fluß der Amalgame eine Kompression vorausgeht.

Wie aus vorstehender Tabelle hervorgeht, begann also beim 50%igen, 30 Tage erhärteten Amalgamzylinder bei einem Druck von 38 kg eine Formveränderung. Beim 67%igen, 30 Tage erhärteten Amalgamzylinder bei einem Druck von 78 kg eine Formveränderung.

Da sich nun der Kaudruck innerhalb der Grenzen von 1—100 kg bewegt, d. h. bei einer gleichmäßigen Inanspruchnahme aller Zähne auf das ganze Gebiß verteilt ist, bei ein Inanspruchnahme weniger Zähne während des Kauaktes für diees Zähne und damit auch für die in ihnen evtl. vorhandenen Füllungen natürlich wesentlich höher ist, ersehen wir auch aus diesem Versuch, daß eine Füllung aus 50%igem Amalgam nicht den Anforderungen eines guten Füllmaterials entspricht, während erst die hochprozentigen Amalgame annähernd in der Lage sind, dem auf sie einwirkenden Kaudruck ohne Formveränderung standhalten zu können.

Versuch IV.

Um das Enttsehen überhängender Ränder zu untersuchen, habe ich einen Amalgamzylinder (67%iges Amalgam, kl. Stücke, einrotiert, 24 Std. erhärtet) in der eisernen Form belassen und mit einem Stempel belastet, dessen Durchmesser 6 mm betrug, also kleiner als der des Amalgamzylinders war. Nach 12stündiger Einwirkung unter einem Druck von 200 kg zeigte der Amalgamzylinder an der Stelle,

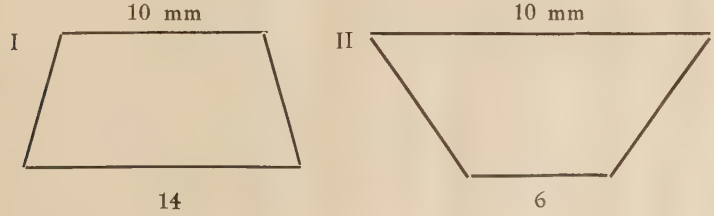
an der er von dem Stempel bedeckt war, eine Höhenabnahme von 1,0%.

Ein Ausfließen war bei dem Zylinder (in der Form) nicht möglich infolge der ihn umgebenden Eisenform. Bei länger einwirkendem Druck mußte sich die Fließbarkeit irgendwie bemerkbar machen, d. h. an Stellen, wo das Amalgam von dem belastenden Stempel nicht getroffen ist, wird sich die Fließbarkeit durch Höhenzunahme bemerkbar machen.

Derselbe Zylinder zeigte nach 12 Stunden eine Höhenzunahme von 0,0% an den nicht getroffenen Stellen.

Nach 24 Stunden	eine Höhenabnahme von	1,3%
	eine Höhenzunahme von	0,4%
Nach 30 Tagen Erhärtung:		
Nach 12 Stunden	eine Höhenabnahme von	0,8%
	eine Höhenzunahme von	0,0%
Nach 24 Stunden	eine Höhenabnahme von	1,2%
	eine Höhenzunahme von	0,4%
Nach 72 Stunden	eine Höhenabnahme von	2,8%
	eine Höhenzunahme von	0,8%
50%iges Amalgam. 30 Tage Erhärtung (Zylinder):		
Nach 12 Stunden	eine Höhenabnahme von	2,3%
	eine Höhenzunahme von	0,4%
Nach 24 Stunden	eine Höhenabnahme von	3,5%
	eine Höhenzunahme von	1,0%
Nach 72 Stunden	eine Höhenabnahme von	5,0%
	eine Höhenzunahme von	2,4%

Dieselben Erscheinungen gelten für die Formen, die kegelstumpfförmig gestaltet sind. Ich habe 2 67%ige Amalgam-Kegelstümpfe von folgender Form hergestellt:



und sie ebenfalls mit einem Stempel von 6 mm Durchmesser belastet.

Kegel I.

Nach 24 Stunden Erhärtung.

Nach 12 Stunden	Höhenabnahme von	0,7%
	Höhenzunahme von	0,0%
Nach 24 Stunden	Höhenabnahme von	1,1%
	Höhenzunahme von	0,2%
Nach 72 Stunden	Höhenabnahme von	2,7%
	Höhenzunahme von	0,5%

Kegel II.

Nach 24 Stunden Erhärtung.

Nach 12 Stunden	Höhenabnahme von	1,20%
	Höhenzunahme von	0,05%
Nach 24 Stunden	Höhenabnahme von	1,5 %
	Höhenzunahme von	0,5 %
Nach 72 Stunden	Höhenabnahme von	2,9 %
	Höhenzunahme von	0,9 %

10.

Aus den durchgeführten Versuchen kann folgendes Ergenbis abgeleitet werden:

Je größer die Fließzahl eines Amalgams ist, um so mehr wird eine solche Füllung sich durch überstehende Ränder auszeichnen. — Außer der Fließbarkeit ist bei den überstehenden Rändern wahrscheinlich noch verantwortlich zu machen die Wanderung von Quecksilber von den belasteten Stellen in unbelastete Stellen, wodurch neben Fließbarkeit noch größere Expansion hinzu kommt. Die Änderung des Hg-Gehaltes zwischen den verschieden belasteten Amalgampartien beruht wahrscheinlich auf der Abgabe von freiem Hg von seiten der Zinn-Quecksilber-Mischmetalle, die unter dem auf sie einwirkenden Druck sich in solche mit weniger Hg-Gehalt umwandeln. Das Hg diffundiert unter dem Druck nach den weniger belasteten Stellen, wo es wiederum Reaktionsmöglichkeiten mit den Silber- und Zinnkomponenten der Legierung findet.

11.

Aus diesen Ergebnissen müssen wir die praktische Schlußfolgerung ziehen, daß in der Paxis nur Amalgame mit möglichst geringer Fließzahl verwandt werden sollen. Dann werden, natürlich immer unter der Voraussetzung einer einwandfreien Kavitätenpräparation und gewissenhafter Verarbeitung des Materials die hauptsächlichsten Fehlerquellen der Amalgamfüllung vermieden werden können. Überstehende Ränder, ein Kontraktion der Füllung und Absprengung der Zahnwände, werden bei einem Amalgam mit geringer Fließzahl nicht auftreten. Die Amerikaner, die nur bestimmte Amalgamlegierungen zulassen, verlangen von einer Amalgamfüllung, daß unter einem Druck von 250 kg cm² inerhalb 24 Stunden sie keinen größeren Flow als 4% aufweist. Die hochprozentigen Amalgame mit geringer Fließbarkeit erfüllen diese Bedingungen, wie aus den Untersuchungen ersichtlich.

12.

Zusammenfassend ist über das gestellte Problem folgendes zu sagen:

Die Bedeutung der Amalgamfüllung für die Praxis liegt klar, da sie die meist gefertigte Füllung ist. Sie wird vor allem im Molarengebiet fast ausschließlich verwandt. Sie wird als zentrale auch als approximale Füllung gelegt. Das Amalgam in Verbindung mit Stiften dient in hervorragender Weise zur Herstellung größerer Defekte. Natürlich ist zu berücksichtigen, daß die Anwendung der Amalgamfüllung begrenzt ist. Sie fällt vor allem im Frontzahngebiet aus. Auch bei buccalen Frontzahnfüllungen wird trotz ihrer Haltbarkeit aus kosmetischen Gründen das Amalgam fast immer vermieden. Ferner können Mißerfolge auftreten, wenn Amalgam in Kavitäten mit sehr dünnen und schwachen Wänden gefüllt wird, weil diese bei der Expansion des Amalgams und vor allem durch den Flow gesprengt werden. Auch bei M.O.D.-Kavitäten sollen Amalgamfüllungen besser vermieden werden.

Wir müssen also bei der Bedeutung, die die Amalgamfüllung für die Praxis hat, höchste Anforderungen an das Material stellen. Durch

die hier durchgeführten speziellen Untersuchungen über die Fließarbeit der Amalgame in Abhängigkeit vom Silber- und Zinngehalt wurde bewiesen, daß diese Eigenschaft eine Rolle spielt für die Güte des Materials. Es ist darum notwendig, bei der Herstellung des Materials diese Eigenschaft in der Verteilung der Zinn-Silberkomponente weitgehendst zu berücksichtigen.

Zum Schluß danke ich Herrn Prof. Dr. Balters für die Überlassung des Themas und die freundliche Beratung. Ebenso danke ich der Firma Gebr. Funke (Jota-Werke) für die Überlassung des Materials.

Literatur-Verzeichnis.

Sterner-Reiner: Edelmetallegierungen und Amalgame.
Fasen: Der Einfluß der Temperung auf die Eigenschaften der Amalgame.
Greth: Die Amalgamfüllung. D.Z.W. 1938 Nr. 21 und Nr. 22.
Schmitz: Die Einwirkung der Quecksilberdosierung auf die Werte der Amalgame.
Bergmann: Untersuchungen über die Beziehung von Füllungsgröße und Bruchfestigkeit bei Amalgamfüllungen.
Kobold: Folien, Spitzen, Feilung und ihre Eignung zur Amalgamfüllung.
Wannenmacher: Untersuchungen über Cu und Ag Amalgame. D.Z.W. 1929.
Haber: Der Stand der Amalgamfrage bis Jahresende 1928. Z.R. 1929.
Lonlisch: Vergleichende Untersuchungen verschiedener Amalgame mit 67% Silber. D.Z.W. Nr. 9 1930.

LEBENSLAUF.

Ich, Hans Robert Müller, wurde am 5. Februar 1909 in Helpup in Lippe geboren. Nach drei Volksschuljahren und anschließendem Besuch des Gymnasiums in Detmold bestand ich Ostern 1929 die Reifeprüfung. In Bonn studierte ich fünf Semester Geodesie und sieben Semester Zahnmedizin. Im Juli 1937 legte ich das zahnärztliche Staatsexamen ab und erhielt gleichzeitig meine Approbation als Zahnarzt.